

# 重力坝渗流安全监测设计与分析

段朝芳

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 830000

**【摘要】**：重力坝是水电站主要挡水建筑物，渗透问题对重力坝的安全稳定产生严重影响，合理的渗流安全监测以及准确的渗流分析是预防渗流危害、保证工程安全的重要手段。目前，一些重力坝渗流监测设计不当、监测指标单一、渗流分析不够精确等现象普遍存在，不能真实地反应坝内渗流情况。本文从重力坝实际情况出发，介绍渗流安全监测的重要性，提出渗流安全监测的设计理念及要求，完善渗流安全监测方案，给出合理渗流分析方法，以期重力坝渗流安全监测的设计、渗流信息的获取以及工程的安全管理起到一定作用，促进水利工程的安全稳定运行。

**【关键词】**：重力坝；渗流安全；监测设计；数据分析；坝体稳定；水利工程

DOI:10.12417/3083-5526.25.08.005

## 引言

重力坝由于其结构简单、承压能力强、适用性强的特点，在水利水电工程中得到大量应用，而其安全性直接影响该地区人民的生命财产以及社会经济的发展。渗漏是重力坝在运行中无法避免的问题，长时间大量渗漏会造成坝体渗透破坏、坝基冲刷，从而导致坝体失稳等严重事故的发生。随着水利行业的信息化建设，传统的渗漏监测手段已经不能够适应现代安全管理的要求。因此，本文主要研究重力坝渗漏的安全监测及其分析设计工作，寻求一种有效的监测措施及合理的方法进行渗流分析解决实际问题，以期能够对重力坝渗漏的安全防护起到一定的作用并保证工程能够长久的安全运行。

## 1 重力坝渗流安全监测的核心意义

重力坝渗流安全监测是水利工程安全控制的一个重要方面，主要是为了能够时刻了解坝体、坝基渗流情况，发现渗流问题，防止事故发生，保证工程长久可靠工作，同时也可工程运行管理、维护修理以及设计改进提供参考依据，在工程安全上由于重力坝体积巨大、受力繁杂，坝基与坝体都有孔隙或者裂缝，水可以从中流过形成渗流场，在时间推移中会使坝体强度下降、坝基扬压力增加而产生管涌、流土或坝体渗漏等问题，甚至使整个大坝倒塌<sup>[1]</sup>。

从工程运维角度来看，渗流监测数据真实地反映了大坝及其基础工作情况，便于工作人员准确识别渗流病害类型、严重性和发展趋势，进而采取相应维修、加固措施，节省运维费用，提高大坝寿命。另一方面，在工程建设方面，通过对多年渗流监测所获得的数据进行分析可以评价设计方案是否合理，对以后类似重力坝建设具有指导意义，优化坝体设计与防渗方法，增强其抗渗性能。同时，渗流安全监测也可以为水利工程安全管理提供数据支持，落实安全管理职责，促进水利工程规范化、科学化管理，保证水库调水、防汛等作用有效发挥。

## 2 重力坝渗流安全监测设计的基本原则

重力坝渗流安全监测设计应根据实际情况，考虑坝体结

构、坝基条件、水文条件等，做到科学合理、全面系统、精确可靠、经济实惠的要求，使监测设计方案切实可行，监测成果可靠有效，以利于渗流安全分析。一要全面系统化，监测设计应包括坝体、坝基、防渗帷幕以及排水设施等重点部位；监测项目应能够反映整个渗流场的变化情况，不留死角，及时发现渗流问题。二要精确可靠，选择精度较高、稳定性能良好、适用于水利工程的仪器仪表，合理设置测点位置，保证所采集信息的真实性、准确性、完整性，真实地反映出实际情况，防止由于仪器仪表的问题或者测点不合理而造成的信息失真。

三是针对性原则，根据重力坝大小、结构型式、坝基地质情况以及可能存在渗漏情况等，进行有针对性的布置监测项目，主要针对容易出现渗漏的地方进行重点监测，突出重点，提高效率<sup>[2]</sup>。四是从经济实用角度出发，在保证监测精度要求下，合理选择监测仪器及位置，节省费用开支，兼顾监测方案经济性和可行性，便于设备安装、调试、维修保养以及数据采集工作。五是从灵活性方面考虑，在考虑工程在使用期间可能出现各种不同水流条件或者坝体内状况变化情况下，留有余地以便日后对监测装置进行改进或者改变监测点位置等，使监测方案能够满足工程长期稳定运行需要而起到良好效果。

## 3 重力坝渗流安全监测设计的核心内容

### 3.1 监测点位布置

监测点位布置是渗流安全监测设计的关键，要根据重力坝自身特点、坝基地质情况以及渗流场特性合理设置监测点位置，使所获得监测信息能够真实、准确地反应出渗流情况。坝体监测点位一般设在坝踵、坝趾、坝体内防渗体或排水孔等位置上，主要检测坝体内渗流压力、渗流量以及渗流方向；坝基监测点位位于坝基上下游部位、防渗帷幕后方或者排水廊道中，主要是为了了解坝基扬压力、渗流量和渗速；防渗帷幕以及排水设施监测点位设置在帷幕连接处或者是排水孔口等地方，主要是为了检查防渗帷幕是否有效以及排水设施工作状况如何。

点位布置应遵循“重点突出、均匀布置、远离干扰源”的原则，在地质条件较差、容易出现渗流病害地段可适当增加监测点数量，在坝体较为均匀、地基较好的地段可以适当减少监测点数量以提高工作效率及经济效益。另外，监测点不能位于坝体的施工缝、伸缩缝以及应力集中的位置以免影响仪器安全导致无法进行正常的监测工作。还要设立一些作为参考的标准监测点用来核对监测结果保证监测准确性。

### 3.2 监测指标确定

根据重力坝渗流安全要求选取重点监测对象，对渗流压力、渗流量、渗流速度以及渗流水质等方面进行全方位监测，以便能够真实有效反映渗流情况及其存在问题。一是渗流压力监测，即坝体内渗压及坝基扬压力，是评价坝体、坝基渗流安全性重要标志，通过对渗流压力变化检测可以发现防渗帷幕损坏或者坝基渗漏等问题；二是渗流量监测，监测坝体内、坝基内以及排水系统中渗流量大小及其变化趋势，反映渗流量大小，判断渗流病害严重程度；三是渗流速度监测，监测渗流速度大小，用于分析渗流场分布情况，判断有无管涌或流土等渗透破坏隐患；四是渗流水质监测，监测渗流水 pH 值、含沙量以及离子含量等情况，判断坝体、坝基受到侵蚀程度，为渗流病害防治提供参考。

### 3.3 监测设备选型与安装

监测设备的选型与安装的质量直接影响监测的数据准确性和可靠性，应根据监测的目标、工程条件以及监测的需求来选择合适的监测仪器设备并进行正确的安装工作<sup>[3]</sup>。渗流压力监测采用高精度渗压计，尽量采用智能型渗压计，可以实现自动采集、传输等功能，符合水利工程潮湿、高压的工作环境；渗流量监测使用量水堰或流速仪等，根据渗流量大小选择相应的规格以保证测量精度；渗速监测使用渗速仪，根据渗流场情况选取适用于不同部位如坝体和坝基处的监测仪器；渗流水质监测使用水质分析仪，可对渗出水中的重要参数进行在线检测。

设备安装应按相关规定，渗压计安装前必须经过标定，达到精度要求；在安装时不得造成设备损伤，做好防水、防潮等工作，以免渗水对设备造成影响；量水堰、流速仪等设备安装应安装平稳、牢固，不能使水流影响观测结果。另外要建立数据采集及通讯平台，以便能够及时获取并保存这些信息供相关人员查阅、分析使用，提高工作效率。

### 3.4 监测频率与数据采集

根据重力坝工作状况、水文条件以及安全级别，有针对性地制定检测周期，在保证可以及早发现渗流情况变化的同时又不能过于频繁以免造成不必要的资源消耗。一般情况下，渗流压力、渗流量每天检测一次或两次；渗流速度、渗流水质每月检测一次；汛期或者暴雨等极端天气情况下适当增加检测次数

至每 1~6 小时一次，以便能够尽快发现渗流出现的问题。

数据获取采取自动获取及人工获取相结合的方法，智能化监控设备完成数据自动获取、上传工作，工作人员定时对获取的数据进行检查、校验，保证获取的数据客观、准确；而对于不能实现自动获取的数据，则由人工获取，在获取过程中严格遵循相关规定并做好相关记录，防止数据缺失或错误。同时设置监测数据管理机制，将获取的数据归类、保存、备份，形成数据库，以便日后分析、查询及回溯，从而为渗流安全性提供充分依据。

## 4 重力坝渗流监测数据的分析方法

### 4.1 趋势分析方法

趋势分析是渗流监测数据的一种常用分析方法，在对监测数据时间序列进行分析基础上，可以得到渗流指标变化趋势以及渗流异常。利用图表法、回归分析等手段，把渗流压力、渗流量等监测数据与其相关的时间、水位等因素联系起来，在时间和渗流指标之间作图，可以观察出渗流指标变化情况；用回归分析得出渗流指标与时间、水位等因素之间的关系式，进而就可以预报渗流指标发展趋势，从而确定是否出现异常变化<sup>[4]</sup>。

如根据坝基扬压力随着水库水位变化情况分析扬压力与水库水位之间关系，在扬压力变化较大并且与水库水位变化不符合情况下可能有防渗帷幕损坏或者坝基渗漏问题；而趋势分析需要基于足够长时间观测数据进行，以避免偶然事件影响，从而得到可靠结论以便对渗流安全性做出正确评估。

### 4.2 对比分析方法

对比分析是通过将监测数据与设计值、历史同期数据、邻近监测点的数据进行比较来判断渗流情况是否正常，发现渗流问题。一是与设计值比较，在监测过程中将所得到的数据与在设计时设定的渗流控制标准进行比对，如果超过设计允许范围，则有渗漏风险，需要进一步查明原因；二是与历史同期数据比较，对比每年相同时间点渗流水力梯度的变化趋势，如果有较大的波动，则要找出原因，是否有渗流问题；三是与邻近监测点的数据比较，在同一位置的不同监测点之间比较渗流情况是否一致，如果两者之间的差别很大，则有可能在其中一个点上出现了渗流问题，要注意这个点。

### 4.3 异常诊断与预警方法

结合趋势分析以及对比分析的结果，建立渗流异常诊断与预警机制，在第一时间发现渗流问题，发出警告，以便采取应对措施。首先是确定渗流指标的正常范围，在满足工程要求的基础上，参考以往的数据，确定各个指标的安全边界，用来进行异常诊断的标准；然后是通过当前监测的数据与正常的范围进行比较来判断是否有问题发生，如果监测的数据超过这个范围就说明有问题，进入异常诊断环节，找出问题的原因，判断问题的性质及大小；最后是根据不同等级的问题发出不同

的警报，给出相应的处理方法，使得问题能够被尽早发现并解决。

## 5 重力坝渗流安全监测的保障措施

为了保证重力坝渗流安全监测有序有效进行，使监测数据真实准确，渗流隐患能够得到及时处理，必须有周密完备保障措施支持监测工作顺利实施<sup>[5]</sup>。一是技术保障，建立专门监测技术人员队伍，负责监测仪器设备安装调试、保养维修以及数据处理等，定期组织业务学习和技术交流等活动，提高相关人员技术水平和动手能力，使监测工作按要求进行；二是加强与科研院所联系，引进先进技术和仪器仪表，改善现有监测方法，提高监测水平和效果。

二是完善相关制度，制定和完善渗流安全监测管理制度，明确监测职责以及工作程序、数据管理和隐患处理等内容，保证监测工作顺利开展；建立监测数据审查、检验机制，定期检查监测数据，发现并解决数据问题，保证数据真实性与准确性。三是增加专项资金用于购置监测仪器设备以及其日常保养维修费用及数据收集等支出，及时更新换代陈旧落后监测设施，防止由于设备老化造成监测结果不准确；加强监测设施建设，改善监测条件，使监测设施能够良好运转。

## 参考文献：

- [1] 邢仕强,瞿立新,孙华锋.龙潭沟水库碾压混凝土重力坝渗流安全监测分析[J].水科学与工程技术, 2025(3):79-82.
- [2] 马厚.某混凝土重力坝渗流监测资料分析[J].海河水利, 2024(11):102-106.
- [3] 袁媛,王景.新疆某水库重力坝渗流安全评价及折减系数研究[J].吉林水利, 2025(6).
- [4] 任旺,苗君,雷万钧,等.混凝土坝坝基立体排水的数值模拟与优化设计[J].岩土力学, 2025(7).
- [5] 季昀,刘贝贝,王玉洁,等.西藏 DG 水电站大坝安全监测系统设计[J].水电与新能源, 2024, 38(1):40-43.

四是要做好应急准备，编制渗流异常应急预案，规定应急程序、职责分配以及应对方法，在平时经常组织演练以提高人员应变水平；如出现渗流异常情况时，马上启动应急预案，迅速查找原因并进行处理，如采取防渗加固或疏浚排水等方式避免事故的发生。五是要实施日常化管理，不定期对渗流监测工作开展监督和检查，发现其中的问题后及时改正，使监测工作正常发挥其作用，保证重力坝的安全可靠运转。

## 6 总结

渗流安全监测是保证重力坝安全稳定运行的重要手段，合理的监测设计以及准确的数据分析可以发现渗流问题，预防事故发生，对重力坝运营及安全管理具有指导意义。目前重力坝渗流监测还存在较多不足之处：如监测点位设计不合理、数据处理不够精确等，应以全面系统、精确可靠、经济实用的要求进行监测点位的选择、重点监测项目的确立、仪器仪表的选取及布设、监测频次的安排。利用时间序列分析、相关性分析、异常判断及报警等方式，正确地分析监测信息，找出渗流问题，同时加强技术和制度以及资金等方面的支撑力度，提高渗流监测的质量，减少渗流危害，使重力坝长期安全稳定运行，促进水利事业的发展。